

BAV-Ziel-2023-P3-07

Übersicht vorhandener Hard-/Software für die Rad-/Schienenprofile und Spezifikationen für allfällige Beschaffung

Systemführerschaft Interaktion Fahrzeug – Fahrweg Meterspur

Projekt: 3 Grundlagen Rad / Schiene

Modul: 5 Hard-/Software für Erfassung, Auswertung und Bewertung Interaktion

Technischer Bericht



Radparametermessanlage Glisergrund (Quelle: MGBahn)

ID: RAILPlusSF-00037

Datum / Status: 24.04.2024 / Freigegeben

Seitenanzahl 19

Verfasser: Roland Müller / Gleislauftechnik-Mueller

Geprüft: Mauro Saputelli / PRJMA

Freigegeben: Friedrich-Christian Walther / Zentralbahn (PL 3)

Zitierweise: Roland Müller, RAILplus / Gleislauftechnik-Mueller:

Übersicht vorhandener Hard-/Software für die Rad-/Schienenprofile und Spezifikationen für allfällige Beschaffung. Technischer Bericht, RAILPlusSF-00037, 24.04.2024

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Verantwortlich	Beschreibung
0.1	27.02.2024	Roland Müller	Erste Version
0.2	29.02.2024	Mauro Saputelli	Prüfung & Bereinigung
0.3	23.03.2024	Roland Müller	Ergänzung Fazit's & Empfehlungen
1.0	24.04.2024	Friedrich-Christ- tian Walther	Schlussbereinigung und Freigabe

Freigabe durch die Systemführerschaft

Version	Verantwortlich	Datum
1.0	Technical Board	23.05.2024
1.0	Management Board	13.06.2024

Öffentlichkeitsgrad

Öffentlich

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bezeichnung
CMM	Capability Maturity Model (Reifegradmodell)
ERP	Enterprise resource planning
LO	Lieferobjekt
MGB	Matterhorn-Gotthard-Bahn
MOB	Compagnie du chemin de fer Montreux Oberland bernois SA
RBS	Regionalverkehr Bern-Solothurn AG
RhB	Rhätische Bahn AG
UIC	Internationaler Eisenbahnverband
UFD	Unterflurdrehbank
ÜMA	Überfahrmessanlage

Management Summary

Die Überwachung der Rad- und Schienenprofile im Betriebseinsatz ist heute Bestandteil der präventiven Instandhaltung. Dies erfolgt aufgrund von Messungen und visuellen Kontrollen. Sowohl hinsichtlich der Überwachung der Sicherheit als auch der visuellen Kontrolle der Fahrflächen der Räder und Schienen auf Schädigungen, kann heute auf Messmittel und Schadenskataloge zurückgegriffen werden. Die dabei anfallende Datenmenge kann je nach Grösse der Fahrzeugflotte und der Grösse des Eisenbahnnetzes beträchtlich sein. Im Regelfall können die dabei für alle Beurteilungsgrössen anfallenden geometrischen Messdaten aus verschiedenen Gesichtspunkten automatisch bewertet werden.

Die im Rahmen der Systemführerschaft RAILplus Fahrzeug/Fahrweg gemachten Erfahrung im Bereich der Messwerterfassung und deren Weiterbearbeitung aus verschiedenen Gesichtspunkten hat ergeben, dass zwar sehr viele Daten erhoben werden, diese jedoch individuell durch die einzelnen Bahnen in unterschiedlichen Betrachtungstiefen weiterverwendet werden. Eine erste bei den Meterspurbahnen durchgeführte Umfrage zu den verwendeten Werkzeugen im Datenmanagement hat ergeben, dass die meisten Bahnen diesbezüglich ein gemeinsames Vorgehen unter der Führung von RAILplus wünschen. Bevor jedoch eine Empfehlung für ein diesbezügliches Vorgehen abgegeben werden konnte, wurden im Rahmen des Projektes P3 wiederum durch Umfragen und Gespräche mit den Bahnen der Istzustand erhoben. Damit sollte eine Übersicht über die bei den Bahnen vorhanden Werkzeuge zur Erfassung, Auswertung und Bewertung von Messdaten an Rädern und Schienen geschaffen werden. Dies, um allfällige Doppelspurigkeit zu vermeiden und vorhandene erfolgsversprechende Lösungen beim weiteren Vorgehen zu berücksichtigen.

Bei der präventiven Instandhaltung werden derzeit die Radprofile bei vielen Bahnen mit dem Messgerät CALIPRI der Firma NEXTSENSE (neu HEXAGON) erfasst und anschliessend bei einigen Bahnen unterschiedlich in weitere Datenbanken übernommen. Auch bei den Schienen werden ähnliche Messgeräte verwendet, wobei diese nur punktuell zur Anwendung gelangen und sich damit die Auswertung grosser Datenmengen weniger stellt als bei den Rädern. Die Messdaten fallen hier jedoch in der Regel vor und nach dem Schienenschleifen an. Erfasst werden diese Daten zum Teil durch die Unternehmen, welche für das Schienenschleifen beauftragt sind. Bei der Infrastruktur zeichnet sich jedoch bei der Erfassung und Auswertung von Schienendaten seit 2020 – dank einem neuen Diagnosefahrzeug – ein erster bedeutender Schritt im Umgang mit grossen geometrischen Datenmengen ab. Derzeit ist auch ein Trend feststellbar, nach welchem die Erfassung der Radprofile mittels Überfahrmessanlagen (ÜMA) im Gleis und der Schienenprofile mittels Messeinrichtungen in Mess- oder Regelzügen erfolgt. Dabei fallen sowohl bei den Schienen als auch bei den Rädern sehr grosse Datenmengen an, welche in Zukunft als wichtige Werkzeuge für die umfassende Systembeherrschung eines Teils der Rad/Schiene-Interaktion unter Berücksichtigung unterschiedlicher Aspekte genutzt werden können. Die derzeit im Einsatz befindlichen Auswerteprogramme sind zwar in der Lage, bei grossen Datenmengen zwischen geometrisch guten und grenzwertigen Zuständen zu unterscheiden. Sie sind jedoch noch nicht in der Lage ein zeitgemäss effizientes Datenmanagement zu gewährleisten.

Damit die zum Teil in grosser Anzahl anfallenden geometrischen Daten sowie diejenigen aus visuellen oder auf andere Art erfassten Daten effizient genutzt werden können, müssen sie schon bei der Erfassung hinreichend beschrieben werden. Dies beinhaltet auch deren Zuordnung zu den Objekten und zu deren Leistungsbezugsgrössen (Laufleistung der Räder, Liegedauer der Schienen, Streckenbelastung in Bruttotonnen, usw.). Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Grösse des Materialabtrags beim Schienenschleifen und bei der Reprofilierung als wesentliche Indikatoren für die Leistungsfähigkeit von Rad und Schiene berücksichtigt werden müssen. Zudem fallen auch Daten an, welche für die Beurteilung der Interaktionen von Rad und Schiene genutzt werden können und welche für die Systembeherrschung Fahrzeug/Fahrweg unabdingbar sind. Es ist nun wichtig, dass Tools bereitgestellt werden, die die Daten erfassen und ablegen, sodass sie durch die Programme für die Interaktionen Rad/Schiene und für die Fahrsicherheit schnell und effizient weiterverarbeitet werden können.

Das vorliegende Dachdokument gibt eine Übersicht zu drei Lieferobjekten (LO's), in denen

- die bei den Meterspurbahnen in der Schweiz vorhandenen Messmittel zur Erfassung der Rad- und Schienenprofile aufgeführt,
- die bei den Bahnen verwendeten, einfachen sowie automatisierten Mess-, Auswerte- und Beurteilungsmittel beschrieben sind und die für die visuellen Kontrollen verwendeten Unterlagen aufgeführt sowie auf welche Art die dabei gemachten Feststellungen dokumentiert und
- Beispiele zum Umgang mit grösseren Datenmengen bei einigen grösseren Meterpurbahnen vorgestellt werden.

Als **Empfehlung** daraus entstand ein viertes Lieferobjekt, in dem ein Vorgehen empfohlen wird, wie in mehreren Stufen – insbesondere bei den grösseren, aber teilweise auch bei kleineren Meterspurbahnen – datenbasiert eine Optimierung der Radsatzbewirtschaftung durchgeführt werden kann. Es wird daher empfohlen gemeinsam, basierend auf dem vierten Lieferobjekt, die verschiedenen Ausbaustufen kontrolliert in Schritten in Angriff zu nehmen.

Inhalt

1	Einleitung.....	6
2	LO 5.1.1, Vorhandene Messtechnik bei den Bahnen.....	8
3	LO 5.1.2, Vorhandene Auswerte-Tools bei ausgewählten Bahnen	10
4	LO 5.1.3, Lieferanten für die Beschaffung der Mess- und Auswertetechnik.....	12
5	LO 5.1.4, Integration der Mess- und Auswertetechnik bei den Bahnen	15
6	Schlussfolgerungen.....	17
7	Verzeichnisse	19
7.1	Literaturverzeichnis	19
7.2	Abbildungen	19
8	Anhang.....	19

1 Einleitung

Die Überwachung der Rad- und Schienenprofile sowie der Rad- und Schienenfahrflächen im Betriebseinsatz ist heute Bestandteil der präventiven Instandhaltung, im Falle des Rollmaterials in einer Werkstatt von der Grube aus und im Falle der Schiene bei Streckenbegehungen vorwiegend durch Streckenwärter. Die Beurteilung erfolgt aufgrund von Messungen und visuellen Kontrollen. Sowohl hinsichtlich der Überwachung der Sicherheit als auch der visuellen Kontrolle der Fahrflächen der Räder und Schienen auf Schädigungen (oder sonstigen sichtbaren Veränderungen), kann heute auf Messmittel und verschiedene Schadenskataloge zurückgegriffen werden.

Die dabei anfallende Datenmenge kann je nach Grösse der Fahrzeugflotte und der Grösse des Eisenbahnnetzes beträchtlich sein. Im Regelfall können die dabei für alle Beurteilungsgrössen anfallenden geometrischen Messdaten aus verschiedenen Gesichtspunkten automatisch oder teilautomatisiert bewertet werden. Es bestehen heute Tendenzen die Schienen mittels Messfahrzeugen und die Räder mittels Detektionsanlagen im Gleis zu erfassen, auszuwerten und zu bewerten. Dies gelingt schon heute zufriedenstellend bei den geometrischen Abmessungen der Rad- und Schienenprofile sowie bei den Querabmessungen von Radsatz und Gleis. Auch gewisse Schädigungen an der Fahrflächen von Rädern und Schienen lassen sich durch derartige Diagnosetechniken erfassen und bewerten. Die Erfassung dieser Grössen, kontinuierlich oder in auf Erfahrungen basierenden Intervallen, erlaubt den Übergang von der planmässigen in die zustandsbezogene Instandhaltung.

Wie die Analyse des Istzustandes bei den Bahnen zeigt, wird viel gemessen und kontrolliert. Dies erfolgt jedoch noch grösstenteils in festgelegten Intervallen und meist ohne zielgerichtete Weiterbearbeitung der ermittelten Daten. Dies betrifft sowohl die Messwerte als auch die Feststellungen aus den visuellen Kontrollen.

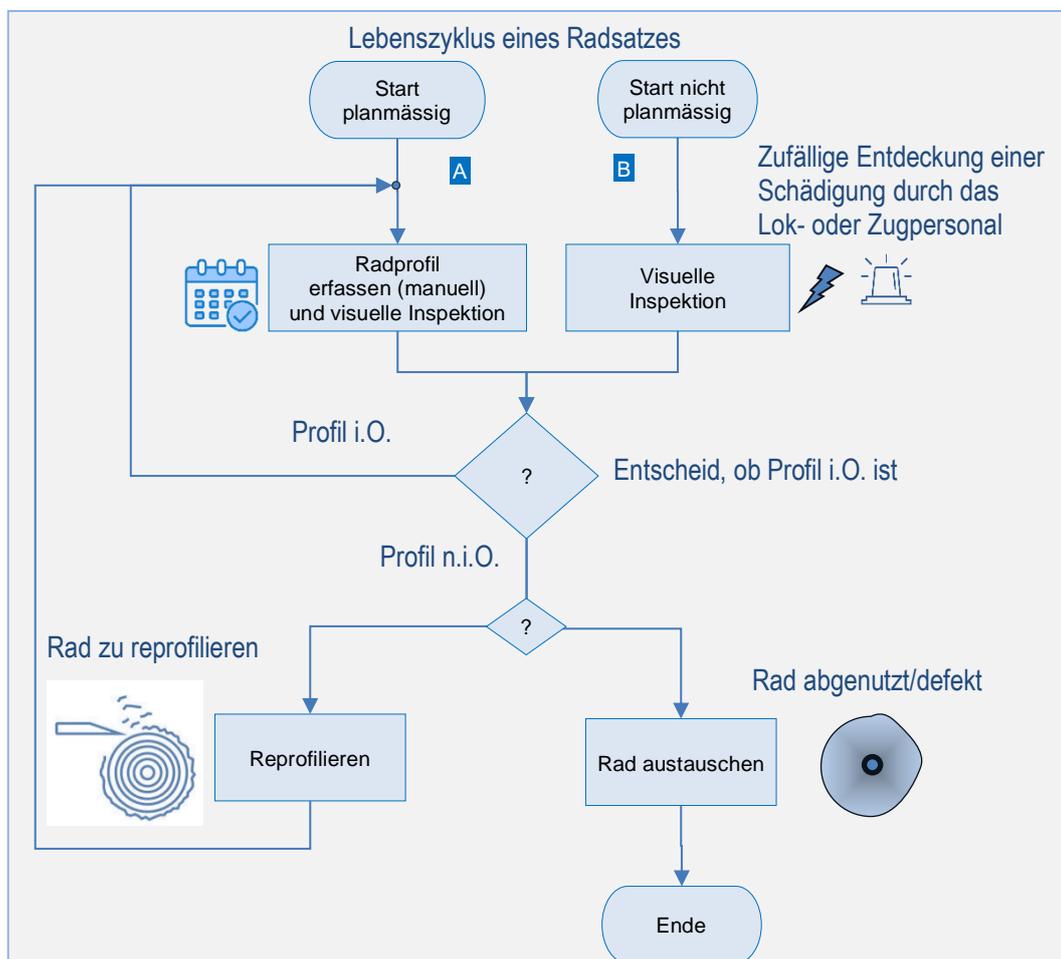


Abbildung 1: Ablaufdiagramm Instandhaltung eines Radsatzes

Die Abbildung 1 zeigt einen typischen Ablauf bei der Instandhaltung der Räder und Radsätze über den Lebenslauf der Räder. Dabei entstehen Daten, welche in vielerlei Hinsicht genutzt werden können oder könnten.

Damit diese Daten, die mit verschiedenen Systemen erfasst werden, effizient genutzt werden können, müssen sie schon bei der Erfassung hinreichend gekennzeichnet werden. Dies beinhaltet auch deren Zuordnung zu den Objekten und Elementen sowie zu deren Leistungsbezugsgrössen. Es ist nun wichtig, dass Tools bereitgestellt werden, die die Daten erfassen und ablegen, so dass sie durch die Programme für die Instandhaltung der Radsätze und für die Interaktion Rad/Schiene schnell und effizient weiterverarbeitet werden können.

Um einen Überblick über die auf dem Markt angebotenen, beziehungsweise bei den Vollbahnen und insbesondere Meterspurbahnen vorhandenen und verwendeten Systemen sowie Erfahrungen zur Mess- und Auswertetechnik bei der Erfassung von Rad- und Schienenprofilen als auch von Schädigungen an den Fahrflächen zu erhalten, wurden verschiedene Studien durchgeführt. Diese werden als Anhänge zum vorliegenden Dachdokument angeführt und befassen sich mit den folgenden Aspekten:

- Auswertung einer Umfrage bei den Meterspurbahnen Schweiz zu den verwendeten Geräten für die Messung und Auswertung von Profilen an Rad und Schiene sowie zu Unterlagen zur visuellen Beurteilung von Schäden an Rad- und Schienenfahrflächen mit deren Lokalisierung in den Berührungsbereichen von Rad und Schiene.
(Lieferobjekt 5.1.1: Anhang 1).
- Auflistung der bei drei grösseren Meterspurbahnen und einer Strassenbahn verwendeten Hard- und Software für Erfassung und Auswertung von Messdaten an Rädern sowie Beschreibung der verwendeten Tools zur Analyse von Verschleiss und Schäden an den Kontaktflächen der Räder mit den Schienen.
(Lieferobjekt 5.1.2; Anhang 2).
- Erstellung einer Marktübersicht zu den Herstellern von Mess- und Auswertetechnik für Rad- und Schienenprofile und tabellarische Zusammenstellung der durch die Anbieter bereitgestellten Eckdaten wie zum Beispiel gemessene Parameter oder Art der Installationen.
(Lieferobjekt 5.1.3: Anhang 3).
- Insbesondere die Analyse der Prozesse bei der Bewirtschaftung der Radsätze bei den grösseren Meterspurbahnen zeigt, dass in diesem Bereich ein Optimierungspotential besteht. Hierzu werden Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt, die durch die heutige Informationstechnologie unterstützt werden können. Um dieses Ziel zu erreichen, werden in Anlehnung an das Capability Maturity Model (CMM) fünf Entwicklungsstufen definiert.
(Lieferobjekt 5.1.4: Anhang 4).

2 LO 5.1.1, Vorhandene Messtechnik bei den Bahnen

Dieses Dokument beschreibt die von den Meterspurbahnen der Schweiz verwendeten Lösungen für die Erfassung und Auswertung sowie das Datenmanagement von Schäden und Verschleiss an Schienen und Rädern. Auf der Grundlage eines Fragebogens an die Eisenbahnen werden die folgenden Parameter aufgelistet:

- die verwendeten Messgeräte
- die verwendete Technologie
- die gemessenen Grössen und erfassten Schädigungen
- die Häufigkeit der Messung und visuellen Kontrolle
- der Ort der Messung und wie diese Messwerte und Feststellungen den Fahrzeugen und den Trassierungseigenschaften der Strecken zugeordnet werden.

Der Bericht enthält die Ergebnisse der Antworten der 18 Meterspurbahnen, die auf die Umfrage geantwortet haben. Die meisten Eisenbahnen führen Kontrollen und Bewertungen manuell und visuell durch. Bei der Messung von Profilen tun sie dies fast ausschliesslich optisch und manuell, hauptsächlich mit CALIPRI Wheel oder CALIPRI Rail. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den geometrischen Grössen, die mithilfe von Grenzwerten und dem Verschleiss bewertet werden. Mehrere Bahnen messen die Schienenprofile mit automatisierten Erfassungsanlagen auf einem Diagnosefahrzeug (ARGE FahrwegDiagnose betreut durch SERSA) oder wie bei der Zentralbahn angewendet, in einem Regelzug (mit dem ATM-Messsystem). In den anderen Fällen erfolgt die Erkennung kritischer Schienenprofile visuell (Kontrolle durch Streckenwärter) und wird manchmal durch Nachmessungen mit CALIPRI Rail verifiziert.

Radprofile werden wegen deren grösserem Verschleissfortschritt häufiger gemessen als Schienenprofile. Eine Bahn misst die Radprofile mit einer Überfahrmessanlage (ÜMA) im Gleis und eine weitere Bahn ist dabei, diese Messtechnik einzuführen. Die anderen messen vorwiegend mit CALIPRI oder benutzen die Unterflurdrehmaschinen (UFD) als Messmittel, obwohl dies Bearbeitungsmaschinen sind. Die meisten Eisenbahnen messen die Radprofile alle 2 bis 3 Monate. Einige haben die Messintervalle aufgrund von Erfahrungswerten verlängert. Bei aussergewöhnlichen Ereignissen bergen diese Prüfintervalle das Risiko, dass ganze Flotten stillgelegt werden müssen.

Die Beurteilung von Schäden an der Lauffläche von Rädern und Schienen erfolgt fast ausschliesslich visuell in einem Abstand von normalerweise einem Monat und in einigen Fällen bis zu sechs Monaten. In einem Fall werden Rundheitsfehler der Räder durch eine Installation auf dem Gleis festgestellt. Manchmal werden Schadenskataloge als Hilfe bei der Beurteilung von Schäden an den Fahrflächen verwendet. Eine Eisenbahn führt nur bei Reprofilierung eine Sichtkontrolle durch, da die Überwachung von Fahrbahnoberflächendefekten mithilfe einer auf dem Gleis montierten Q-Messanlage erfolgt. Die meisten Bahnen führen eine Sichtkontrolle bei der Messung der Radprofile durch.

Ein einheitlicher Schadenskatalog mit standardisiertem Vorgehen bei Abweichungen, würde eine bessere Dokumentation sowohl für die Räder als auch für die Schienen ermöglichen. Die UIC hat 2006 ein Dokument veröffentlicht, das diese Anforderung erfüllt. Generell ist festzustellen, dass Umfragen bei den Eisenbahnen zu Rad- und Schienenschäden meist nur oberflächliche Antworten liefern. Deshalb ist ein speziell für die Meterspurbahnen ausgelegter Schadenskatalog in Arbeit, in dem die verschiedenen Radschäden bildlich dargestellt, verständlich beschrieben und für die Dokumentation mit Codes versehen sind.

Fazit: Die Antworten der Bahnen sind sehr oberflächlich gehalten, geben aber Einblick in die Art und Weise der Messungen, visuellen Kontrollen, Auswertungen und Beurteilungskriterien. Bei den Einzelmessungen von Profilen an Rad und Schiene wird mit optischen Geräten von fast nur einem Hersteller (NEXTENSE mit CALIPRI) gearbeitet. Erfassung und Auswertung erfolgen ausschliesslich aus den

Gesichtspunkten der Instandhaltung und die Bewertung anhand verschiedener mehr oder weniger einheitlicher und zum Teil bahnspezifischen Kriterien, liegt unmittelbar nach der Messung vor. Eine Plausibilisierung der Messergebnisse findet nicht statt, sodass entscheidungsrelevante Daten fehlerbehaftet sein können. Die Messdaten stehen in unterschiedlichen Dateien (CSV, XML und PDF) für nachträgliche Auswertungen zur Verfügung. Die meisten Bahnen nutzen ausschliesslich die Dateien im PDF-Format. Über das Datenmanagement wird in den Antworten wenig ausgesagt. Die Schädigungen an den Fahrflächen Rad/Schiene erfolgt nahezu ausschliesslich visuell und für die Bewertung werden unterschiedliche Schadenskataloge verwendet. Da in diesen die gesamten Radsätze und Schienen mit den ihnen zugeordneten Schäden aufgeführt sind, ist die Betrachtungstiefe für die Beurteilung der Schäden an den Fahrflächen nicht ausreichend. Zudem sind die Schäden nicht codiert und damit für Schadensanalysen nur beschränkt zugänglich. Die geometrische Erfassung und Bewertung der Schienen ist bei der Infrastruktur dank dem regelmässigen Einsatz des Diagnosefahrzeugs bei den meisten Meterspurbahnen automatisiert. Die Erfassung von Schäden an den Fahrflächen erfolgt grösstenteils noch durch Streckenwärter.

Empfehlungen:

- Die Qualität bei der Erfassung der Messdaten an Rad und Schiene bei Einzelmessungen und die in den Datenfiles aufzunehmenden Zusatzdaten sind zu vereinheitlichen (Erfassungsdateien) sowie zu verbessern und das Personal zu schulen. Eventuell ist im Rahmen von RAILplus ein Gerätepool für die Meterspurbahnen zu beschaffen und bei Weiterentwicklungen der Auswertesoftware ein gemeinsames Vorgehen anzustreben.
- Die Risiken bei Berücksichtigung nur eines Anbieters von Gerätschaften ist zu minimieren (Obsoleszenz Management).
- Die Gerätschaften müssen für die Auswertung der relevanten berührgeometrischen Grössen ergänzt werden.
- Die Bestrebungen zur automatisierten Erfassung und Auswertung von Radprofilen durch Anlagen im Gleis sind gemeinsam voranzutreiben und zu unterstützen.
- Bei der Erfassung von Schäden an den Radlaufflächen ist die Verwendung von Detektionsanlagen im Gleis gemeinsam voranzutreiben und die entsprechende Rahmenorganisation aufzubauen.

3 LO 5.1.2, Vorhandene Auswerte-Tools bei ausgewählten Bahnen

In diesem Dokument wird die Analyse der Daten an den Rädern und Radsätzen behandelt. Während alle Unternehmen die Sicherheitsgrössen des Radprofils überprüfen (q_R -Mass, Spurkranzhöhe S_h und Spurkranzdicke S_d), endet die Dateninterpretation bei vielen Unternehmen hier. Andere analysieren die Verschleissrate bezogen auf den Laufkreis sowie aus dieser Referenz am Radprofil die Zunahme der Spurkranzhöhe und den Verlauf der Raddurchmesser. Daraus resultiert die Planung von Reprofilierungen und der Austausch von Monoblockrädern sowie von Radreifen. Das Verhältnis zwischen manueller Arbeit und einem automatischen Betrieb ist sehr unterschiedlich.

Angesichts dieser Vielfalt kann die Darstellung der Prozesse zur Messung und Analyse von Verschleiss und Schäden an Rädern nur für eine Stichprobe erfolgen. Diese erfolgt bei einigen Bahnen mit einer grösseren Anzahl von Fahrzeugen. Die ausgewählten Bahngesellschaften sind BERNMOBIL, die MOB, RBS und die RhB. Obschon BERNMOBIL bei den Strassenbahnen angesiedelt ist, wird deren Radsatzmanagement hier als zielführend mitbetrachtet.

Alle ausgewählten Eisenbahngesellschaften haben eine ausreichend grosse Flotte. Aus diesem Grund besteht hier die Notwendigkeit einer effizienten Analyse von Verschleissdaten zur Planung der Instandhaltung. Die Analyse der Radverschleissdaten durch die verschiedenen hier untersuchten Unternehmen weist mehrere Gemeinsamkeiten auf. Zunächst einmal zielen die Messungen auf die Planung der Instandhaltung und die Untersuchung des Verschleisses ab. Dies insbesondere dann, wenn der Verschleiss grössere Ausmasse einnimmt. Zwar entwickelt jede Gesellschaft ihre Lösung intern, aber alle gehen in die gleiche Richtung.

Der aktuelle Stand der Analyse ist für die hier untersuchten Bahnen sehr unterschiedlich. Die Unterschiede sind wahrscheinlich noch ausgeprägter, wenn alle Meterspurbahnen der Schweiz betrachtet werden würden.

Auch bei der Darstellung der Daten gibt es eine grosse Vielfalt. Diese unterscheiden sich durch einfaches Lesen eines PDF-Berichts, die Anwendung von Grafiken und Tabellen in Excel oder gar einer Schnittstelle auf einer Webseite. Schliesslich ist auch der Grad der Automatisierung der Messungen und ihrer Analyse sehr unterschiedlich. Bei BERNMOBIL sind die Messung und die Datenübertragung vollständig automatisiert. Es werden aber nur einige wenige Grössen analysiert. Bei den anderen wird zumindest ein Teil manuell durchgeführt. Dies betrifft die Messung selbst, die Dateiübertragung oder die Eingabe von Werten über eine Tastatur. Hinsichtlich der Betrachtungstiefe der Daten sind die Bedürfnisse nicht unbedingt bei allen Eisenbahnen gleich. Ein vollautomatischer Prozess ist für eine kleine Flotte nicht unbedingt erforderlich. Mit Ausnahme von RBS konzentriert sich die Analyse bei den anderen Bahnen hauptsächlich auf die Überwachung von Sicherheitsgrössen.

Fazit: Die vertieft analysierten Beispiele für das Datenmanagement bei vier grösseren Bahnen zeigen teilweise signifikante Unterschiede, die auf Erfahrung, aber auch auf Gewohnheit beruhen. Jede Gesellschaft entwickelt ihre eigenen Analyseinstrumente und Bewertungskriterien. Im Hinblick auf eine Vereinheitlichung und Verbesserung der Datenanalyse und der daraus ableitbaren Erkenntnisse und Prozesse, aber auch auf die Entwicklung einer besseren Beherrschung des Kontakts zwischen Rädern und Schienen, besteht ein Bedarf an einer gemeinsamen Grundlage. Dies soll durch Erfahrungsaustausch und gemeinschaftliche Arbeit an der Entwicklung neuer Analysewerkzeuge erreicht werden. Es sollte die Verwendung verschiedener Messinstrumente ermöglichen und zeitnahe Ergebnisse, Entscheidungsgrundlagen in technischer und ökonomischer Hinsicht sowie Bewertungen liefern, die den unterschiedlichen Bedürfnissen aller Gesellschaften gerecht werden. Bei den Überfahrmessanlagen zur automatisierten Erfassung und Auswertung der Radprofildaten ist ein desolater Zustand vorgefunden worden, da sie noch nicht in der Qualität und Quantität Messdaten liefern, wie sie sollten.

Empfehlung: Basierend auf einer Systemarchitektur, die auf die Systeme und die in ihnen zusammenwirkenden Komponenten (Tätigkeitsfelder, Aufgabenstellungen & Management) ausgerichtet sind, sollen optimierte Prozesse bei der Instandhaltung der Radsätze sowie bei deren Interaktion Fahr-

zeug/Fahrweg bei verschiedenen Bahnen dargestellt und allenfalls vereinheitlicht werden. Diese müssen dann in mehreren logisch aufeinanderfolgenden Ausbaustufen umgesetzt werden können. Je nach Grösse der Bahn werden zur Zielerreichung mehrere Ausbaustufen erforderlich sein. Ein solches Vorgehen wird im Lieferobjekt 5.1.4 vorgeschlagen. Dabei sind neben den Aspekten der Sicherheit und Interaktion die praktischen Bedürfnisse und Möglichkeiten der Bahnen zu berücksichtigen.

4 LO 5.1.3, Lieferanten für die Beschaffung der Mess- und Auswertetechnik

Bei den Meterspurbahnen kommen teilweise unterschiedliche und teilweise identische Messsysteme zur Erfassung und Auswertung von Rad- und Schienenzuständen zur Anwendung. Aufgrund welcher Anforderungen diese Systeme beschafft wurden und ob für den Anwendungsbereich das beste Kosten-Nutzenverhältnis erzielt wurde, lässt sich jeweils nur schwierig nachvollziehen. Deshalb wird in diesem Dokument eine Übersicht geschaffen, anhand welcher die Meterspurbahnen einen besseren Überblick über den Markt erhalten.

Für diese Übersicht wurde im Internet und auf Basis von Expertenangaben Hersteller und deren Produkte recherchiert. Die wichtigsten Eckdaten, wie zum Beispiel gemessene Parameter oder die Installationsart, wurden aus den Herstellerangaben entnommen und in eine Übersichtstabelle übertragen.

In der Tabelle sind 64 Produkte zur Mess- und Auswertetechnik aufgeführt. Davon sind 26 Produkte für die Erfassung von Radmesswerten, 29 Produkte für die Erfassung von Schienenmesswerten und 9 Produkte ausschliesslich für das Management der erfassten Daten konzipiert. Unterschiede bestehen im Umfang der erfassten Werte. Beispielsweise werden zum Teil nur einzelne Parameter und zum Teil das ganze Profil gemessen. Seltener wird auch eine Auswertung zur Interaktion Rad – Schiene angeboten (z.B. äquivalente Konizität / Delta R).

Grundsätzlich können die erfassten Rad- und Schienenmessungen für zwei Anwendungsbereiche ausgewertet werden:

- Einerseits können sie für die Instandhaltung bzw. deren Planung verwendet werden. Hierfür werden unter anderem relevante Parameter überwacht und mit Grenzwerten versehen. Es wird davon ausgegangen, dass die aktuell eingesetzten Mess- und Auswertesysteme hauptsächlich auf die Instandhaltung (z.B. durch das Überwachen von Verschleisswerten) genutzt werden.
- Andererseits können anhand der erfassten Rad- und Schienenzustände Auswertungen zur Interaktion von Rad und Schiene durchgeführt werden. So kann beispielsweise das Zusammenspiel zwischen realen Rad- und realen Schienenprofilen untersucht werden.

Für die Auswertung bezüglich der Interaktion bedürfen die erfassten Daten im Vergleich zur Instandhaltung eine deutlich höhere Genauigkeit bzw. Auflösung, um damit verlässliche Resultate und Erkenntnisse erzielen zu können. Dies bedingt wiederum leistungsstarke bzw. umfangreichere Messinstallationen. Es wird angenommen, dass dieser Anwendungsbereich in der Meterspur heute kaum berücksichtigt ist.

Das Vorgehen bei der Marktanalyse erfolgte in folgenden Schritten:

1. Zusammentragen bekannter Hersteller/Anbieter der Messsysteme und Auswertetechnik für Rad und Schiene
2. (Internet-) Recherche: Produkte der jeweiligen Anbieter sichten und auf Zugehörigkeit zu Rad- und Schienenparameter sortieren
3. Eckdaten zu den Mess- und Auswertetechniken der Produkte ausschreiben
4. Eckdaten möglichst vergleichbar in einer Liste festhalten, die als Überblick dient

Die Resultate sind in einer Exceltabelle als Übersicht festgehalten. Die Tabelle kann nach den folgenden Kriterien gefiltert werden, um die Suche oder den Überblick zu vereinfachen:

- Hersteller (inkl. Link zur Internetseite der Hersteller)
- Produktname (inkl. Link zur Internetseite des Produkts)
- Betrifft (Rad / Schiene / Management (Rad oder Schiene))
- Erfassungsart (stationär / on Board / Handgerät / nur Software für Auswertung)

In den weiteren Spalten werden zusätzliche Informationen zu den Produkten festgehalten. Diese Informationen werden in die folgenden Kategorien eingeteilt:

- Erfasste Parameter
- Zusätzliche (verfügbare) Infos
- v_{\max} für Erfassung
- Genauigkeit der Erfassung
- Weitere Messsysteme des Herstellers
- Abzuklärende Interaktion Rad – Schiene: hauptsächlich, ob die erfassten Profile zur Auswertung der Interaktion (äquivalente Konizität oder Delta R Funktion) genutzt werden können

Die folgenden Themen sind für die Meterspur ebenfalls von grossem Interesse. Diese können mit einer solchen Übersicht jedoch nicht vollständig geklärt werden:

- Erhältlichkeit der Messsysteme für Meterspur: einige Hersteller von Messsystemen weisen darauf hin, dass diese in verschiedenen Spurweiten erhältlich/einsetzbar sind. Bei den meisten Messsystemen fehlt eine solche Information, was eine direkte Abklärung mit dem Hersteller notwendig macht.
- Einsatz bei Zahnradbahnen: Zahnradbahnen werden bei den Messsystemen nicht explizit erwähnt. Ob es hier Konflikte geben kann (z.B. Schienenmessung: Zahnstange und Messlehre kollidieren), muss ebenfalls mit dem jeweiligen Hersteller abgeklärt werden.

Fazit: Die 64 erfassten Produkte zur Mess- und Auswertetechnik unterscheiden sich, soweit bei den Beschreibungen aus dem Internet ersichtlich ist, im Umfang der erfassten Daten, beim Umfang der Auswertungen und Ergebnisdarstellungen.

Der grösste Teil der auf dem Markt angebotenen Produkte sind für Einzelmessungen und die Auswertung von kleinen Datenmengen konzipiert. Bei den Anlagen für die automatisierte Erfassung und Auswertung grosser Datenmengen (hohe Anzahl) von Rad- und Schienenprofilen existieren derzeit nur wenige Anbieter. Diese messen die Radprofile im Gleis mittels Überfahrmessanlagen und die Schienenprofile aus einem Fahrzeug (in Messwagen oder Regelverkehrszügen) heraus. Da sich die Anzahl der Überrollungen eines Radprofilquerschnittes deutlich von den Überrollzyklen eines Schienenquerschnittes unterscheiden, ist der Verschleissfortschritt bei den Rädern signifikant grösser als bei den Schienen. Aus diesem Grunde sind Messungen an den Rädern in kürzeren Zeitabständen erforderlich als bei den Schienen. Da netzweite Einzelmessungen an Schienen kaum möglich sind, werden diese – wenn überhaupt – nur bei besonderen Feststellungen durch die Streckenwärter durchgeführt. Für die Erfassung von Schienenprofilen ist periodisch deren Messung mit Diagnosefahrzeugen zweckmässig. Bei Bahnen mit einem grösseren Fahrzeugpark ist der Aufwand für die Einzelmessungen nicht zu vernachlässigen. Optimal wäre in diesen Fällen der Einsatz von ÜMA's im Bereich einer Instandhaltungsanlage.

Meist sind die Messungen der Radprofile auf die bei der Instandhaltung der Fahrzeuge vorgeschriebenen Kontrollen sowie die Protokollierung der Messwerte und daraus auf die Planung der Instandhaltung ausgerichtet. Etliche Bahnen verwenden zusätzlich noch eigene handgestrickte und auf ihre Bedürfnisse abgestimmte Auswerteprozeduren, welche vorwiegend auf Excel beruhen. Zum Teil werden auch in zusätzlichen Programmen Auswertungen durchgeführt, wenn Messdaten aus unterschiedlichen Messsystemen anfallen. Ein typisches Beispiel sind Messdaten, welche auf den UFD anfallen. Diese werden zum Teil händisch mit anderen anfallenden Messdaten zusammengeführt.

In einigen zusätzlichen Auswerteprogrammen sind auch einfache Auswertungen zu berührungsgeometrischen Zusammenhängen von Rad/Schiene möglich. Diese beschränken sich jedoch in der Regel auf einfache und durch die Programme vorgegebene Ergebnisdarstellungen. Oft wird die Bedeutung der Inhalte aus den dabei zur Verfügung stehenden Darstellungen, durch die nicht speziell darauf geschulten Anwender, nicht verstanden.

Empfehlung: Mit einer Ausnahme verwenden alle Bahnen für die Einzelmessungen die Geräte der Firma NEXTSENSE (neu HEXAGON). Diese Firma scheint ein Marktmonopol in der Schweiz zu haben und hat deshalb hinsichtlich der Preisgestaltung keine Konkurrenz zu befürchten. Zudem besteht die Gefahr, dass sich der Stand der Ausrüstung (Hard- und Software) bei den verschiedenen Bahnen in unterschiedlichen Versionierungen befindet. Es macht daher aus verschiedener Hinsicht Sinn, dass die Meterspurbahnen bei der Mess- und Auswertetechnik, bei allfälligen Erweiterungen und Neubeschaffungen enger zusammenarbeiten und Beschaffungen gemeinsam vornehmen oder sogar einen gemeinsamen Pool schaffen. Dies macht vermutlich auch bei den Einrichtungen für Einzelmessungen am Gleis Sinn.

Bei Bahnen mit grösseren Fahrzeugserien ist basierend auf einer Wirtschaftlichkeitsstudie zu prüfen, ob sich der vermehrte Einsatz von Überfahrmessanlagen bzw. Zugkontrollenrichtungen auszahlt. Dabei ist darauf zu achten, dass diese innert nützlicher Frist nach dem Einbau voll funktionsfähig sind (aktuelle Beispiele zeigen, dass diesbezüglich ein erhebliches Risiko besteht).

5 LO 5.1.4, Integration der Mess- und Auswertetechnik bei den Bahnen

Das Lieferobjekt befasst sich mit den verschiedenen Aspekten der Datenerfassung und -verarbeitung im Kontext des Radsatzmanagements für Meterspurbahnen. Die richtige und fachgerechte Handhabung von Messdaten ist eine Voraussetzung zur Optimierung der Radsatzbewirtschaftung. Es werden die üblichen Prozesse zur Bewirtschaftung der Radsätze bei Meterspurbahnen dargestellt, die Optimierungspotenziale aufgezeigt und dazu eine mögliche Lösung erarbeitet. Aufgrund der heutigen Informatik-Technologie ergeben sich dafür zahlreiche Möglichkeiten. Basierend darauf wird eine Lösung zur Digitalisierung des Radsatzmanagementsystems beschrieben. Die Lösung basiert auf den Normen des ISO-55001-Asset-Managements sowie der modernen Industrie 4.0-Technologie.

Die folgenden Punkte wurden untersucht:

- Systemarchitektur heute und in Zukunft.
- Wie werden die Daten der Radsätze bei den Bahnen erfasst?
- Wohin werden die Daten gesendet und abgelegt?
- Inwieweit ist der Datenaustausch zwischen den Messgeräten (SAP, Drehbank, ortsfeste Anlage, usw.) automatisiert?
- Werden die Daten auch interpretiert oder lediglich erfasst und abgespeichert?
- Wenn die Daten ausgewertet werden, beispielsweise in einer Trendanalyse mit Leistungsbezugsgrößen, wo werden die Ergebnisse gespeichert?
- Sind die Prozesse definiert?
- Welche Automatisierungen werden von den Bahnen angewendet?

Anlehnung an die Capability Maturity Model (CMM) werden fünf Entwicklungsstufen definiert. Die Entwicklungsstufen gehen von Null aus und enden mit der höchsten Stufe 5. Um das Ziel zu erreichen, müssen die Stufen sukzessive erreicht werden. Jede höhere Stufe baut auf den niedrigeren Stufen auf, wodurch die jeweilige niedrigere Stufe eine Voraussetzung für die Nächsthöhere ist.

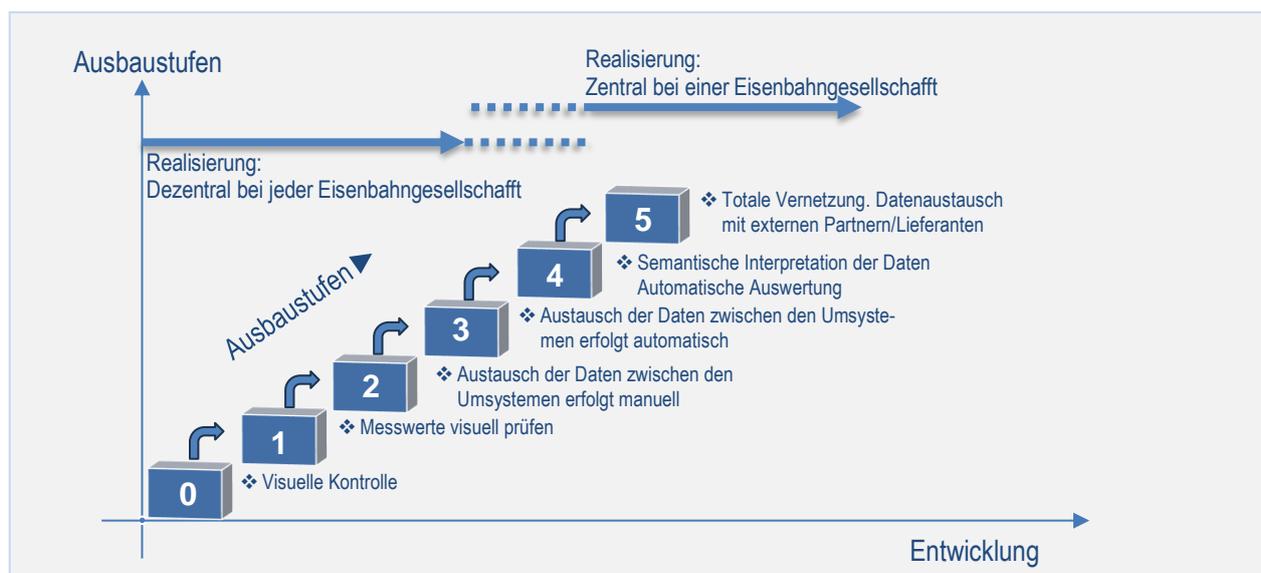


Abbildung 2: Entwicklungsphasen einer modernen Bewirtschaftung der Radsätze

In Bezug auf Daten werden fünf Stufen der Befähigung definiert, beginnend mit der Datenerfassung bis hin zum Daten- und Informationsaustausch. Entlang der gesamten Lieferkette von der Lieferung über Lagerung und Austausch bis hin zur Entsorgung. Die Abbildung 2 zeigt die fünf Ausbaustufen übereinander in grafischer Form. Die Schnittstellen zwischen den dezentralen und zentralen Ausbaustufen werden durch die oberen zwei Pfeile dargestellt.

Die ersten Ausbaustufen sollten bei jeder Eisenbahngesellschaft dezentral umgesetzt werden. Hingegen empfiehlt es sich, die höheren Ausbaustufen zentral an einem Ort zu errichten. Die genaue Schnittstelle ist abhängig von den jeweiligen Möglichkeiten, Bedürfnissen und Fähigkeiten der einzelnen Eisenbahnunternehmen.

Eine Kombination verschiedener Ausbaustufen ist möglich. Beispielsweise können bestimmte Teile der Ausbaustufe 5 dezentralisiert werden. Diese Teile behandeln die Verbindungen zwischen den Lieferanten und dem internen ERP-System der Bahn. Die Produktpflege und Weiterentwicklung sollten jedoch zentralisiert sein. Die verschiedenen Ausbaustufen dienen als Indikatoren für den Grad der Beherrschung eines Systems.

Falls das Konzept weiterverfolgt wird, sollte bei allen Meterspurbahnen eine Ist-Analyse in Form einer Checkliste durchgeführt werden. Nach Abschluss der Ist-Analyse kann gemeinsam der Weg zum Ziel definiert werden.

Fazit: Es wurde festgestellt, dass die Struktur der Messdaten von stationären und mobilen Geräten standardisiert werden muss, um einen reibungslosen Austausch mit anderen Geräten wie Unterflurdrehbänken sicherzustellen. Operativ ist das Radsatzmanagement im Bereich der Radsatzinstandhaltung angesiedelt. Die dabei verwendeten Daten müssen jedoch auch für die Systembeherrschung Rad/Schiene benutzbar sein. Dies erfordert jedoch grössere Anforderung bei der Handhabung der Messdaten.

Dazu gehört auch die automatische Datenübertragung zwischen den Geräten, um Effizienz und Genauigkeit zu gewährleisten. Die Unterflurdrehbänke müssen dafür auch eine Schnittstelle für den Datenaustausch bereitstellen.

Zusätzlich zu den technischen Anforderungen wurde erkannt, dass eine einheitliche Software für alle Meterspurbahnen angestrebt werden sollte, um eine konsistente Datenerfassung und -verarbeitung zu gewährleisten. Zusätzlich müssen einheitliche Grundprozesse mit bahnspezifischen Teilprozessen für das Radsatzmanagement entwickelt werden, um die Effizienz und Zuverlässigkeit der Prozesse zu verbessern.

Schliesslich wurde festgestellt, dass standardisierte Datenschnittstellen für den Austausch mit den Lieferanten erarbeitet werden müssen, um eine nahtlose Integration von externen Systemen zu ermöglichen und die Zusammenarbeit zu erleichtern. Diese Massnahmen sind entscheidend, um die Qualität der Daten zu verbessern und eine effektive Optimierung des Radsatzmanagements auf Meterspurbahnen zu ermöglichen.

Empfehlung: Eine automatisierte und digitalisierte Radsatzbewirtschaftung kann in mehreren Ausbaustufen erreicht werden. Je nach Grösse der Bahn werden die Ausbaustufen so optimiert, dass bei kleinen Bahnen keine höheren Ausbaustufen erforderlich sind. Diese können sich beginnend mit regelmässigen Messungen und manuellen Auswertungen über vereinfachte halbautomatische Auswertungen bis hin zu automatisierter Datenerfassung und vollständig automatisiertem Datenaustausch erstrecken. Dabei werden die bis anhin genutzten Systeme soweit möglich und sinnvoll in die Prozesse einbezogen.

6 Schlussfolgerungen

Die in diesem Dachdokument zusammengefassten Ergebnisse aus den Anhängen 1 bis 4 sind das Ergebnis einer im Rahmen von RAILplus im Jahr 2021 durchgeführten Umfrage beim Rollmaterial der Meterspurbahnen. Siehe [1] und [2].

Die Basisdokumente zur Erstellung dieses Dachdokuments befassen sich einerseits mit dem Ist-Zustand bei den Meterspurbahnen hinsichtlich der eingesetzten Messgerätschaften und der zugehörigen Auswerteprozeduren zur Erfassung und Auswertung von Rad- und Schienenprofilen. Andererseits werden bei der Instandhaltung die Zustände der Fahrflächen von Rad und Schiene visuell kontrolliert. Dies erfolgt bei den Rädern und Schienen präventiv und bei Meldungen durch objektgebundene Mitarbeiter (Lokführer, Einfahrkontrolle, Zugpersonal).

In den 2000er Jahren (2000 bis 2010) begann die Umstellung der Profilmessungen von einfachen Messlehren auf mobile lasergestützte Profilmessgeräte. Dabei wurden auch Datenblätter generiert, die farblich hinterlegt eine Beurteilung der Messergebnisse ermöglichen. Für die visuelle Kontrolle stehen in der Schweiz (Normalspur und Meterspur) seit den 10er Jahren (2010 bis 2019) Schadenskataloge für Räder und Schienen zur Verfügung. Diese sind allgemein gehalten, enthalten ganze Räder und Schienen und sind im Kontaktbereich Rad/Schiene noch nicht ausreichend detailliert gehalten. Zudem sind die Beurteilungskriterien für «Fehler» mangels Codierung nicht digitalisierbar.

Um einen vertieften Einblick in den Ist-Zustand der bei den Meterspurbahnen eingesetzten Instrumente, Einrichtungen und Unterlagen zur Beurteilung des Zustandes der Fahrflächen sowie der Interaktionen von Rad/Schiene bzw. Radsatz/Gleis zu erhalten, wurden die Ergebnisse von Umfragen bei den Bahnen in den Basisdokumenten LO 5.1.1 und 5.1.2 zusammengefasst. Dabei wurde auch der Automatisierungsgrad bei der Erfassung, Auswertung und Bewertung der Daten (messtechnisch, visuell) berücksichtigt.

Darüber hinaus wurde im Basisdokument LO 5.1.3 eine Marktanalyse aus dem Internet und aus Umfragen bei den Bahnen über Hersteller von Messgeräten und Messanlagen zusammengestellt. Obwohl sich dabei herausstellte, dass eine Vielzahl von Herstellern Produkte auf dem Weltmarkt anbieten, wird von den Bahnen in der Schweiz, insbesondere bei den mobilen Geräten und damit für Einzelmessungen, nur ein Hersteller berücksichtigt. Auch bei den Anlagen für die automatisierte Messung (Anlagen im Gleis oder auf Diagnosefahrzeugen installiert) dominiert jeweils nur ein Anbieter.

Während Messgeräte zur Erfassung von Rad- und Schienenprofilen auf dem freien Markt verfügbar sind, gibt es erhebliche Unterschiede im Stand der Auswertungen. Diese sind offensichtlich auf unterschiedliche Bedürfnisse und Betrachtungstiefen bei den verschiedenen Bahnen zurückzuführen und beschränken sich auf Aspekte der Instandhaltung und Instandsetzungsplanung von Rädern und Schienen. Geometrische, berührungsgeometrische und kontaktmechanische Interaktion scheinen hier nahezu unberücksichtigt zu bleiben.

Da die Infrastrukturbetreiber der Meterspurbahnen auf eine automatisierte Erfassung und Auswertung der Schienenprofile mit einem Diagnosefahrzeug übergehen und sich deren Auswertungen aus Sicht der Instandhaltung in einem fortgeschrittenen Stadium befinden, hat die Systemführerschaft RAILplus 2021 bei den Rollmaterialbetreibern eine Umfrage zur Auswertung der Radprofile durchgeführt.

Aus den Antworten von 11 Bahnen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Für die meisten der 11 Bahnen, die den Fragebogen geantwortet haben, besteht ein Auswertungsbedarf entsprechend den Fragen im zugrundeliegenden Bericht.
- Etwa die Hälfte der Bahnen verfügt über eine Auswertung der Ergebnisse. Als Auswertungstools werden vor allem Excel und A.U.R.A Wheel genannt. Bei Excel wird davon ausgegangen, dass es sich dabei bahinterne Eigenentwicklungen handelt, die nicht uneingeschränkt untereinander vergleichbar und auf andere Bahnen übertragbar sind. Die Applikation A.U.R.A. Wheel verlief früher laut Internetrecherche zum Teil in Zusammenarbeit mit den Herstellern der CALIPRI-Geräte.

Die Software kann Informationen von Radprofil- und Raddefekt-Messgeräten, sowie von Radsatz-Drehmaschinen und Drittanbieter-Software verarbeiten.

Dies ermöglicht allen zukünftigen CALIPRI-Anwendern ihre Drehgestell-Wartung ganzheitlich zu betrachten. Es ist davon auszugehen, dass diese Software auf die Bedürfnisse der Instandhaltung aus geometrischer Sicht ausgerichtet ist und den Bereich der Lauftechnik nicht ohne kostspielige Weiterentwicklung abdecken wird.

- Der grösste Teil der Bahnen würde eine auf die im Bericht aufgeführten Aspekte ausgerichtete Software benutzen. Die MGB würde diese nutzen, falls dies notwendig wäre.
- Der grösste Teil der Bahnen würde es begrüessen, wenn RAILplus eine auf die im Bericht aufgeführten Aspekte ausgerichtete Software entwickeln lassen würde.
- Keine der Bahnen ist derzeit dabei, eine Software zu entwickeln bzw. entwickeln zu lassen.
- Rund die Hälfte der Bahnen geben an, dass eine solche Software auf dem Markt schon besteht. Genannt werden dabei NEM-Software, A.U.R.A. Wheel, CAF-Rail und Zilina.

Die Ergebnisse dieser Umfrage werden durch die in den Anhängen 1 bis 3 dargestellten Untersuchungen bestätigt. Insbesondere zeigt sich, dass die operative Umsetzung der Massnahmen vor allem bei den Rädern zu unterschiedlichen handgestrickten Lösungen bei den verschiedenen Bahnen geführt hat. Die einzelnen am Markt angebotenen Lösungen wurden von den Herstellern in enger Zusammenarbeit mit den Bahnen entwickelt und sind nur mit entsprechenden Lizenzgebühren nutzbar.

Fazit/Empfehlung: Auf Grundlage der oben genannten Umfrage und der in den Anhängen 1 bis 3 dargestellten Ergebnisse, wurde im Anhang 4 ein Lösungsweg vorgeschlagen, der in Abhängigkeit von der Grösse und den Bedürfnissen der einzelnen Bahnen, stufenweise zu einer für alle nutzbaren Anwendung für die operative Umsetzung der erfassten Daten führen wird. Die Grundlage für eine langfristige Systembeherrschung von Rad/Schiene und eine zustandsbezogene Instandhaltung von Radsätzen/Schienen ist, dass die Stufe 3 (nach Abbildung 2) bei allen Meterspurbahnen umgesetzt ist. Denn nur so kann ein gemeinsames und darauf aufbauendes Tool für alle Bahnen entwickelt werden. Da solche Systeme für kleine Einzelbahnen unwirtschaftlich sind, muss hier durch RAILplus ein gebündeltes Vorgehen zur Erreichung von Ausbaustufe 4 und 5 zur Synergienutzung verfolgt werden.

Im Rahmen von RAILplus werden weitere ergänzende Dokumente erarbeitet. Dazu gehören unter anderem auf die Fahrflächen von Rad und Schiene ausgerichtete Schadenskataloge mit codierten Schäden, die für die digitalen Auswertungen genutzt werden können. Die Qualität dieser Dokumente hängt unter anderem auch von den praxisnahen Beiträgen und Erfahrungsrückflüssen ab, welche die Meterspurbahnen den Verfassern dieser Dokumente zur Verfügung stellen sollten.

7 Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

- [1] RAILplus: Auswertung von Radprofilen, Évaluation des profils de roue, Juli 2021
- [2] RAILplus: Ergebnisse zu Umfrage Bahnen zur Auswertung der Radprofile, Résultats de l'enquête sur le dépouillement des profils des roues, Oktober 2021

7.2 Abbildungen

- Abbildung 1: Ablaufdiagramm Instandhaltung eines Radsatzes6
- Abbildung 2: Entwicklungsphasen einer modernen Bewirtschaftung der Radsätze 15

8 Anhang

- Anhang 1: Lieferobjekt 5.1.1, Vorhandene Messtechnik bei den Bahnen
- Anhang 2: Lieferobjekt 5.1.2, Vorhandene Auswerte-Tools bei ausgewählten Bahnen
- Anhang 3: Lieferobjekt 5.1.3, Lieferanten für die Beschaffung von Mess- und Auswertetechnik
- Anhang 4: Lieferobjekt 5.1.4, Integration der Mess- und Auswertetechnik bei den Bahnen